

ОСОБЛИВОСТІ ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ МІСТА ОДЕСА

Д. В. Шелінговський, Т. А. Сафранов

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова
вул. Всеволода Змієнка, 2, 65000, Одеса, Україна,
safranov@ukr.net, d.v.shelinhovskiy@ukr.net

Серед речовин, що забруднюють довкілля урбанізованих територій, зокрема, ґрунтовий покрив, особливе місце займають важкі метали, до яких, зазвичай, належать метали з масою понад 50 атомних одиниць та густиною більше ніж 5 г/см³. Залежно від джерел надходження до ґрунтового покриву і властивостей ґрунтів розрізняють важкі метали, що пов'язані з особливостями материнських порід та важкі метали, що надходять до ґрунтового покриву внаслідок антропогенної діяльності. Забруднення важкими металами сприяє зменшенню пористості ґрунтів та негативно впливає на процеси циркуляції повітря, води та поживних речовин. На відміну від більш динамічного повітряного басейну та поверхневих природних вод, де відбуваються активні процеси самоочищення, ґрунтовий покрив практично не має такої здатності, процеси очищення від важких металів відбуваються дуже повільно, лише під час вилуговування, поглинання рослинами й у процесі водної ерозії, що зумовлює екологічну небезпеку на урбанізованих територіях впродовж тривалого часу. Тому метою цієї роботи є аналіз особливостей забруднення важкими металами ґрунтового покриву міста, територія якого характеризується досить різноманітними ґрунтово-геохімічними умовами. В процесі інтенсивної урбанізації ґрунтовий покрив зазнав вплив численних антропогенних факторів, у результаті якого відбувалася зміна його фізико-хімічних властивостей та підвищення концентрацій важких металів. Аналіз результатів раніше проведених досліджень показує, що найбільш забрудненими окремими важкими металами (Pb, Zn, Cu, Co) є ґрунти промислової зони та ділянок, прилеглих до автотранспортних магістралей з інтенсивним рухом. Серед цих техногенно-напружених ділянок урбанізованої території особливе місце займають ділянки парків і скверів, де зафіксовано перевищення значення фонових концентрацій свинцю та цинку, в той час, як вміст міді на всіх ділянках зафіксований нижче фонові концентрації. Але діапазон розрахованих значень індексів геоаккумуляції для цих важких металів відповідає рівню забруднення ґрунтів від слабого до середнього, залежно від відстані ділянок від джерел техногенного забруднення. За результатами експериментального біосенсорного біолоюмінесцентного аналізу зазначених ґрунтів окремих парків та скверів міста Одеса не зафіксовано вираженого інгібування рівня люмінесценції мікробних клітин, які слугують основою сенсорних елементів. Це свідчить про відсутність речовин, токсичних для ґрунтових мікроорганізмів. У процесі аналізу зафіксовано незначний рівень стимуляції люмінесценції мікробних клітин, що може бути пов'язано з впливом підвищеного вмісту органічної компоненти у зразках ґрунту; проаналізовані проби ґрунтів віднесено до низького рівня екологічної токсичності, що відповідає їхньому рівню забруднення за значенням індексу геоаккумуляції. Найбільші розрахункові значення загального екологічного ризику (RI) характерні для промислової (27,19) та транспортної (10,19) функціональних зон м. Одеса, причому ці показники відповідають незначній характеристиці величини ризику.

Ключові слова: важкі метали, забруднення, ґрунтовий покрив, екологічний ризик.

1. ВСТУП

До числа розповсюджених забруднюючих речовин (ЗР), що впливають на стан та якість ґрунтового покриву належать важкі метали (ВМ), які характеризуються токсичністю та здатністю до біоаккумуляції. Наявність цих хімічних елементів та їхніх сполук у ґрунтах зумовлена низкою природних та антропогенних чинників. В умовах інтенсивного

антропогенного впливу на природні компоненти довкілля дедалі більшої актуальності набуває проблема забруднення ґрунтового покриву, зокрема важкими металами. Як відомо, ВМ характеризуються високою токсичною дією, стійкістю, здатністю до накопичення та міграції ланцюгами живлення, що безпосередньо впливає на стан ґрунту, його родючість, якість

сільськогосподарської продукції та здоров'я населення [1]. Варто нагадати, деякі ВМ є не лише токсичними речовинами, але й природними мікроелементами ґрунтів, необхідними для нормального функціонування культурних рослин, оптимальні концентрації яких залежать від фізико-хімічних особливостей материнських порід та процесів ґрунтоутворення, а також від антропогенних чинників.

Сам процес очищення ґрунтового покриву урбанізованих територій від ВМ відбувається досить повільно, переважно шляхом вилуговування, поглинання рослинами, а також у процесі водної та вітрової ерозії.

Визначення вмісту та форм ВМ у ґрунтовому покриві є коштовним та складним завданням. Найбільш поширеними у використанні є атомно-абсорбційний спектрометричний та рентгено-флуоресцентний методи визначення ВМ, також застосовують метод індуктивно-зв'язаної плазмової спектрометрії та біоіндикаторні методи. При цьому, насамперед, необхідно враховувати рівень чутливості методів, а також форму, у якій визнаються ВМ (валова або рухома).

Варто зазначити, питання просторово-часового розподілу ВМ у ґрунтах південних регіонів України, залишається недостатньо вивченим. Розподіл та ступінь токсичності ВМ у ґрунтовому покриві обумовлені природними умовами місцевості та залежать від особливостей конкретної речовини. Наприклад, деякі ВМ (Hg, Pb, Cd) накопичуються у верхніх шарах ґрунту, але їхня міграція по ґрунтовому профілю та винесення за його межі незначні. Моніторинг стану ґрунтів, зокрема на вміст ВМ, набуває важливого значення, особливо у зв'язку з постійним зростанням антропогенного навантаження на навколишнє природне середовище.

На урбанізованих територіях природні ґрунти перебувають під постійним впливом різних антропогенних факторів і практично втратили здатність до самоочищення. На відміну від динамічного повітряного басейну і поверхневих природних вод, де відбуваються активні процеси самоочищення від ВМ та інших політантів, ґрунтовий покрив практично не має такої здатності. У забруднених ґрунтах урбанізованих територій зменшується кількість органічної речовини, порушується природна рівновага рН поверхневого шару ґрунту, а також місткість катіонного обміну, що зумовлює зниження буферної здатності ґрунтів. Звичайно, у ґрунтах техногенно-забруднених територій кількість сполук міді, цинку, кобальту, нікелю

та свинцю у рухомих формах (водорозчинних, легко-обмінних іонів, розчинних у слабко-кислому середовищі) зростає у порівнянні з фоновими значеннями, а також порівняно із ґрунтами рекреаційних зон. Оскільки склад ґрунтів неоднорідний, навіть у межах однієї земельної ділянки їхні фізико-хімічні властивості можуть бути різними, що, у свою чергу, зумовлює зміни концентрацій важких металів.

Також ВМ впливають на кількість, різноманітність та активність ґрунтової біоти, адже здатні уповільнювати швидкість росту та розмноження ґрунтових мікроорганізмів.

Контроль за станом ґрунтів вкрай важливий з огляду на антропогенні навантаження, які з кожним роком зростають. В умовах динамічної урбанізації практично неможливо нівелювати антропогенну складову забруднення ґрунтів, але з урахуванням екологічної небезпеки забруднення ґрунтового покриву урбанізованих територій важкими металами дослідження особливостей їхнього вмісту та закономірностей розподілу вважається актуальною проблемою.

Метою роботи є оцінка екологічного ризику та аналіз особливостей забруднення ВМ ґрунтового покриву міста Одеса.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Робота ґрунтується на опублікованих даних вітчизняних і зарубіжних науковців, а також на матеріалах власних досліджень. Авторами були проведені дослідження рівня забруднення ВМ ґрунтів окремих ділянок міста Одеса. Зразки ґрунтів відбирали за допомогою бура методом «конверта»: ширина – 100 м, довжина – 300 м, глибина відбору проб – 0-25 см (у межах гумусового шару). Цей метод дозволяє отримати репрезентативну середню пробу з ділянки, де ґрунт відносно однорідний за рельєфом та рослинністю. З п'яти точкових проб по кожному парку було сформовано загальні проби (парк Перемоги – 3 загальні проби, парк Шевченка – 2 загальні проби). Аналіз вмісту водорозчинних (рухомих) форм ВМ у ґрунтах методом водної витяжки (екстракції) з ґрунту проводився у лабораторії моніторингу вод Південного регіону Відокремленого підрозділу Басейнового управління водних ресурсів річок Причорномор'я та нижнього Дунаю «Причорноморський центр водних ресурсів та ґрунтів». Також у процесі дослідження, для визначення екотоксичності, було використано результати експериментального біосенсорного біолюмінесцентного методу аналізу зразків ґрунту, проведеного в Інституті біоколоїдної

хімії імені Ф.Д. Овчаренка Національної академії наук України.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Для оцінки рівня забруднення ґрунтів використовують значну кількість показників: коефіцієнт концентрації, індекс забруднення, показник потенційного екологічного ризику, зокрема застосовують розрахунок значення індексу геоаккумуляції (I_{geo}). Цей показник є одним із найпоширеніших індикаторів у геоекологічних дослідженнях, адже дозволяє кількісно оцінити рівень забруднення ґрунтів відносно природного вмісту елементів, визначається за формулою:

$$I_{geo} = \log_2(C_i/1,5 GB), \quad (1)$$

де C_i – вміст ВМ у гумусовому горизонті; GB – фоновий вміст ВМ для ґрунтів степової зони України [2]; 1,5 – коефіцієнт, що враховує природну геохімічну варіабельність.

Залежно від значення індексу геоаккумуляції виокремлюють такі рівні забруднення ґрунтового покриву [3]:

- 1) чисті ґрунти (< 0);
- 2) ґрунти від слабого до середнього рівня забруднення (0–1);
- 3) ґрунти середнього рівня забруднення (1–2);
- 4) ґрунти від середнього до сильного рівня забруднення (2–3);
- 5) ґрунти сильного рівня забруднення (3–4);
- 6) ґрунти дуже сильного рівня забруднення (4–5).

За даними [4] щодо вмісту ВМ у ґрунтах окремих парків та скверів міста Одеса було проведено розрахунок індексу геоаккумуляції (табл. 1).

Крім того, також було розраховано значення індексу геоаккумуляції для основних функціональних зон міста Одеса. Дані розрахунків для різних зон урбанізованої території [5, 6] наведено у табл. 2.

Таблиця 1 – Вміст важких металів та значення індексу геоаккумуляції (I_{geo}) для ґрунтів окремих парків і скверів міста Одеса

Table 1 – Heavy metal content and geoaccumulation index (I_{geo}) values for soils of individual parks and squares of the city of Odessa

№ ділянки	Вміст важкого металу, мг/кг ґрунту / значення I_{geo}			Рівень забруднення ґрунтів за значенням I_{geo}
	Pb/I_{geo}	Zn/I_{geo}	Cu/I_{geo}	
1	4,54/-2,10	241,60/1,38	0,18/-7,81	чисті (Pb, Zn), середній (Zn)
2	6,89/-1,50	13,22/-2,81	0,92/-5,46	чисті (Pb, Zn, Cu)
3	6,14/-1,67	15,02/-2,63	1,07/-5,24	чисті (Pb, Zn, Cu)
4	50,27/1,37	37,90/-1,30	1,32/-4,94	середній (Pb), чисті (Zn, Cu)
5	37,79/0,95	18,38/-2,34	0,93/-5,44	слабкий-середній (Pb), чисті (Zn, Cu)
6	2,66/-2,87	0,89/-6,71	1,36/-4,90	чисті (Pb, Zn, Cu)
7	4,53/-2,11	35,58/-1,39	0,49/-6,37	чисті (Pb, Zn, Cu)
8	9,74/-1,00	87,54/-0,09	1,33/-4,93	чисті (Pb, Zn, Cu)
9	48,32/1,31	25,10/-1,89	1,37/-4,89	середній (Pb), чисті (Zn, Cu)
10	38,90/1,00	38,29/-1,28	1,58/-4,68	слабкий-середній (Pb), чисті (Zn, Cu)

Примітка: 1 – схили поблизу санаторію імені Чкалова; 2 – сквер біля Одеської обласної ради (під деревами); 3 – сквер біля Одеської обласної ради (трав'яниста рослинність, газон); 4 – «Дюківський сад» (Розкидайлівська, 69); 5 – парк «Дюківський сад»; 6 – меморіал 411 берегової батареї; 7 – парк «Аеропортівський»; 8 – парк Перемоги; 9 – парк Марка Твена; 10 – парк Шевченка.

Таблиця 2 – Вміст важких металів та значення індексу геоаккумуляції (I_{geo}) для ґрунтів різних функціональних зон м. Одеса

Table 2 – Heavy metal content and geoaccumulation index (I_{geo}) value for soils of different functional zones of Odessa city

Назва функціональної зони міста	Вміст важкого металу, мг/кг ґрунту / значення I_{geo}			Рівень забруднення ґрунтів за значенням I_{geo}
	Pb/I_{geo}	Zn/I_{geo}	Cu/I_{geo}	
Транспортна	20,16/0,05	24,60/-1,92	11,02/-1,88	слабкий-середній (Pb), чисті (Zn, Cu)
Рекреаційна	18,19/-0,10	23,07/-2,01	8,02/-2,34	чисті (Pb, Zn, Cu)
Промислова	61,16/1,65	82,66/-0,17	12,58/-1,69	слабкий-середній (Pb), чисті (Zn, Cu)
Селітебна	20,50/0,07	58,00/-0,68	1,16/-5,13	слабкий-середній (Pb), чисті (Zn, Cu)

Вищенаведені дані щодо вмісту ВМ у ґрунтах окремих парків та скверів міста Одеса доповнено результатами власних досліджень, які було виконано методом екстракції (водної

витяжки з ґрунту) та представлено у табл. 3. Дослідження виконувалися з метою визначення вмісту водорозчинних (рухомих) форм важких металів, які становлять значну екологічну

небезпеку, оскільки характеризуються високою мобільністю у ґрунтового покриві, здатністю до міграції і, відповідно, до біоаккумуляції в живих організмах.

Таблиця 3 – Результати аналізу водних витяжок (екстракції) із ґрунтів окремих парків Одеси
Table 3 – Results of analysis of water extracts from soils of certain parks in Odessa

Місце відбору проби	Наважка проби ґрунту	Одиниці вимірювання	<i>Cu</i>	<i>Cd</i>	<i>Zn</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Hg</i>
Парк Шевченка	40 г	мг/дм ³	0,020	0,001	0,000	0,000	0,020	0,000
		мг/кг	0,100	0,005	0,000	0,000	0,100	0,000
Парк Перемоги	40 г	мг/дм ³	0,015	0,004	0,000	0,000	0,012	0,000
		мг/кг	0,075	0,002	0,000	0,000	0,060	0,000

Різницю у результатах аналізу ВМ у ґрунтах окремих парків Одеси, отриманих методами атомно-абсорбційної спектrophотометрії (див. табл. 1, 2) та водної витяжки (див. табл. 3), зумовлено відмінностями у принципах цих методів. Аналіз методом атомно-абсорбційної спектrophотометрії передбачає повне розчинення ґрунтового зразка за допомогою кислот, а тому визначає усі рухомі форми важких металів. Метод водної витяжки – це один з найпростіших та найпоширеніших способів оцінки мобільної (водорозчинної) форми ВМ у ґрунті. Він широко застосовується в екологічному моніторингу, оскільки дозволяє оцінити ступінь екологічної небезпеки ґрунтового забруднення та біодоступність металів для рослин, мікроорганізмів і людей, але, варто зазначити, що цей метод не дає повної інформації щодо загального забруднення, хоча є цінним для екотоксикологічної оцінки та оцінки екологічного ризику. Тобто цей метод передбачає визначення лише тієї фракції ВМ, яка є мобільною та потенційно доступною для поглинання рослинами (водорозчинні, рухомі форми).

За результатами оцінки рівня екологічної токсичності досліджених проб ґрунтів окремих парків Одеси з використанням експериментального біосенсорного біолюмінесцентного аналізу (табл. 4) їх віднесено до низького рівня екологічної токсичності.

Аналіз ґрунтується на реєстрації змін інтенсивності біолюмінесценції бактеріальних штамів — компонентів сенсорного елемента — під впливом токсичних речовин, що містяться у водному екстракті зразка ґрунту, який аналізується, у порівнянні з контролем, за допомогою біолюмінометра Hidex (Фінляндія).

1) низький – від 0,6-0,9 до 1,1-1,5; **2)** середній – від 0,4-0,6 до 1,5-1,7; **3)** високий – від 0,2-0,4 до 1,7- 2,0.

Як контрольний зразок (еталон на вміст небезпечних речовин) використовувався природний дерново-підзолистий ґрунт (Пуща-Водиця, Україна).

Під час аналізу проб ґрунтів, з огляду на характер їхньої чутливості до вмісту ВМ, було використано такі біосенсорні елементи:

- 1) СЕ1 – біосенсорний елемент на основі штаму *Vibrio fischeri* (природна люмінесценція);
- 2) СЕ2 – біосенсорний елемент на основі штаму *Vibrio harveyi* (природна люмінесценція);
- 3) СЕ3 – біосенсорний елемент на основі штаму *Photobacterium phosphoreum* (природна люмінесценція).

Використані штами характеризуються здатністю до гасіння природної люмінесценції у присутності окремого ВМ. Біолюмінесцентні бактерії містять фермент люциферазу, який здійснює ефективну трансформацію енергії хімічних зв'язків життєво-необхідних метаболітів у світловий сигнал на рівні, придатному для вимірювань. Параметр екоотоксичності (E) визначається за формулою (2) і відображає рівень інтегральної забрудненості об'єкта, зокрема, ВМ, і виражається як відношення інтенсивності біолюмінесценції бактерій при контакті дослідної проби (I_n) до інтенсивності біолюмінесценції бактерій при контакті з еталонною (контрольною) пробою (еталонні ґрунти/вода) (I_e):

$$E = \frac{I_n}{I_e} \quad (2)$$

Діапазони ризику залежно від значення параметра екологічної токсичності (E) такі:

За результатами оцінки рівня екологічної токсичності досліджених проб ґрунтів окремих парків міста Одеса з використанням експериментального біосенсорного

біолюмінесцентного аналізу (табл. 4) їх класифіковано як ґрунти з низьким рівнем екологічної токсичності.

Таблиця 4 – Оцінка рівня екологічної токсичності проб ґрунтів окремих парків Одеси за результатами експериментального біосенсорного біолюмінесцентного аналізу
Table 4 – Assessment of the level of ecological toxicity of soil samples from certain parks in Odessa based on the results of experimental biosensor bioluminescent analyses

Ресстр зразків		Значення біосенсорних елементів (E, відн.од.)			
№ проби	Місце відбору	CE1	CE2	CE3	Рівень екологічної токсичності
1	Парк Шевченка	1,24	1,34	1,27	низький
2	Парк Перемоги (точка 1)	1,52	1,33	1,42	низький
3	Парк Перемоги (точка 2)	1,40	1,45	1,47	низький

Порівняльний аналіз рівня екотоксичності зразків ґрунту окремих паркових зон міста Одеса з еталонною пробою за результатами експериментального біосенсорного біолюмінесцентного аналізу наведено на рис. 1.

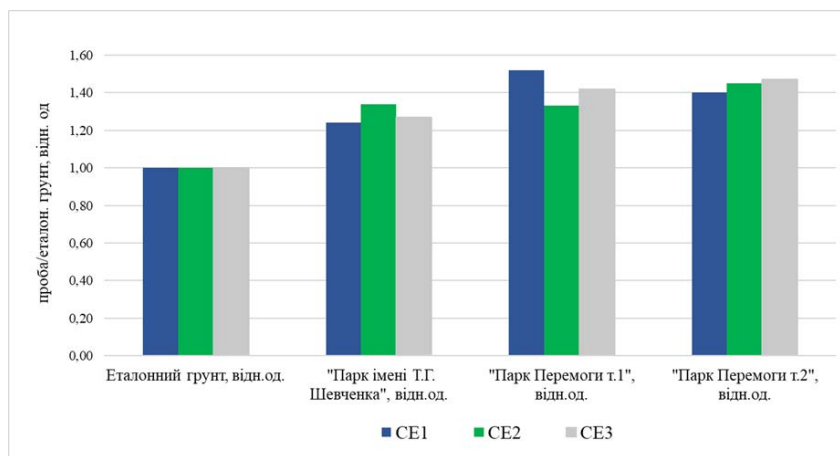


Рисунок 1 – Порівняльний аналіз рівня екотоксичності зразків ґрунту паркових територій м. Одеса за результатами експериментального біосенсорного біолюмінесцентного аналізу

Fig 1 – Comparative analysis of the level of ecotoxicity of soil samples from park areas of Odessa based on the results of experimental biosensor bioluminescent analysis

Оцінка потенційного екологічного ризику забруднення ґрунту важкими металами є однією з найбільш важливих складових ефективного управління екологічною безпекою територій, адже дає змогу виявити важливі шляхи надходження цих токсикантів до організму людини, визначити небезпеку забруднення ґрунтів з огляду впливу на здоров'я населення та класифікувати території за необхідністю природоохоронних заходів [7]. Наразі через недосконалість системи моніторингу досить складно сповна оцінити ситуацію щодо забруднення ґрунтів важкими металами.

Для оцінки екологічного ризику забруднення ґрунтового покриву важкими металами доречно використовувати індекс потенційного екологічного ризику Хакансона [8]. Як відомо, цей методичний підхід є одним із найпопулярніших методів, що застосовуються для оцінки екологічного ризику [9-11], адже індекс Хакансона враховує не лише вміст ВМ, але й їхні екологічні та токсикологічні особливості. Розрахунок цього індексу виконується за формулою (3):

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i = \sum_{i=1}^n (T_r^i \times C_f^i) = \sum_{i=1}^n \left(T_r^i \times \frac{C_i}{C_n^i} \right), \quad (3)$$

де C_f^i – індекс забруднення певним важким металом; C_i – концентрація важкого металу у ґрунтовому покриві; C_n^i – фонове значення

важкого металу в ґрунті; E_r^i – індивідуальний фактор екологічного ризику для окремого

важкого металу; T_r^i – коефіцієнт токсичності важкого металу; RI – загальний індекс потенційного екологічного ризику.

$$E_r^i = T_r^i \cdot C_f^i. \quad (5)$$

Розрахунок індексу потенційного екологічного ризику Хакансона складається з кількох важливих обчислювальних етапів, тому його необхідно виконувати у такій послідовності:

3) Виконується розрахунок загального індексу потенційного екологічного ризику (RI):

$$RI = \sum_{i=1}^n (T_r^i \times C_f^i). \quad (6)$$

1) Розраховується індекс забруднення (C_f^i):

$$C_f^i = C_i / C_n. \quad (4)$$

Значення коефіцієнтів токсичності (T_r^i) для окремих важких металів наведено в табл. 5.

2) Обчислюється індивідуальний фактор екологічного ризику для окремого важкого металу:

Таблиця 5 – Значення коефіцієнтів токсичності для окремих важких металів [11-12]

Table 5 – Values of toxicity coefficients for specific heavy metals [11-12]

ВМ	Zn	Mn	Cu	Ni	Pb	As	Cd	Hg
Коефіцієнт токсичності	1	2	5	5	5	10	30	40

Показники індивідуальних факторів екологічного ризику для окремого важкого металу та загальний індекс потенційного екологічного ризику класифіковані відповідно до критеріїв оцінки, що наведені у табл. 6, це дозволяє диференціювати отримані значення за

ступенем потенційної небезпеки від незначного до надзвичайно сильного рівня ризику. Ці показники дають змогу оцінити, наскільки концентрації важких металів перевищують природний фоновий рівень і якою мірою вони можуть становити загрозу для живих організмів.

Таблиця 6– Критерії оцінки екологічного ризику [13]

Table 6 – Environmental risk assessment criteria [13]

Характеристика величини ризику	Незначний	Середній	Сильний	Дуже сильний	Надзвичайно сильний
E_r^i	<40	40-80	80-160	160-320	≥ 320
RI	<150	150-300	300-600	600-1200	≥ 1200

Як зазначено вище, важливе значення має розрахунок індексу забруднення ґрунту, оскільки він забезпечує інтегральну кількісну характеристику стану ґрунтового середовища, а також є складовою для оцінки потенційних екологічних ризиків. Дані щодо обчислення індексу забруднення ґрунтового покриття різних функціональних зон, а також окремих парків і скверів м. Одеса наведено у табл. 7 та 8.

значення за характеристикою величини ризику відповідають категорії «незначний» (див. табл. 6), що свідчить про відносно низький рівень ризику для ґрунтового покриття на досліджуваних територіях.

Крім того, у табл. 7 представлено результати розрахунку значень індивідуального фактору екологічного ризику (для кожного окремого важкого металу) та значення загального індексу потенційного екологічного ризику для функціональних зон міста Одеса.

За даними [5, 6] було проведено розрахунки індивідуального фактору екологічного ризику (для кожного окремого важкого металу) та загального індексу потенційного екологічного ризику для ґрунтів окремих парків та скверів міста Одеса (табл. 8).

Як видно з результатів, найвищі показники загального індексу екологічного ризику (RI) характерні для промислової (27,19) та транспортної (10,19) функціональних зон міста Одеса, але, варто зауважити, що ці розрахункові

В табл. 8 наведені значення індексу забруднення ґрунту, індивідуального фактору екологічного ризику (для кожного окремого важкого металу) та загального індексу потенційного екологічного ризику для окремих парків та скверів міста, які характеризуються найменшими рівнями техногенного навантаження порівняно з промисловою та

Таблиця 7 – Значення індексу забруднення ґрунту, індивідуального фактору екологічного ризику для окремих важких металів та значення загального індексу потенційного екологічного ризику для функціональних зон міста Одеса

Table 7 – Values of the soil pollution index, individual ecological risk factor for specific heavy metals, and the overall potential ecological risk index for the functional zones of the city of Odesa

Назва функціональної зони міста	Показник індексу забруднення ґрунту (C_i^f) / значення E_r^i			Загальний індекс екологічного ризику, RI
	Zn	Cu	Pb	
Транспортна	0,40/0,40	0,41/2,04	1,55/7,75	10,19
Рекреаційна	0,37/0,37	0,30/1,49	1,40/7,00	8,85
Промислова	1,33/1,33	0,47/2,33	4,70/23,52	27,19
Селітебна	0,94/0,94	0,04/0,21	1,58/7,88	9,03

транспортною функціональними зонами Одеси, а тому й значення загального екологічного ризику (RI) перебувають у діапазоні від 1,29 до 19,24, що відповідає незначній величині ризику (див. табл. 6); причому вищі значення

характерні для ділянок парків та скверів, які прилягають до зон із підвищеним рівнем техногенного навантаження (промислових об'єктів та автомагістралей).

Таблиця 8 – Значення індексу забруднення ґрунту, індивідуального фактору екологічного ризику (для кожного окремого важкого металу) та загального індексу потенційного екологічного ризику для окремих парків та скверів міста Одеса**Table 8** – Values of the soil pollution index, individual ecological risk factor (for each specific heavy metal), and the overall potential ecological risk index for certain parks and squares of the city of Odesa

№ ділянки	Показник індексу забруднення ґрунту (C_i^f) / значення E_r^i			Загальний індекс екологічного ризику, RI
	Zn	Cu	Pb	
1	3,90/3,90	0,01/0,03	0,35/1,75	5,68
2	0,21/0,21	0,03/0,17	0,53/2,65	3,03
3	0,24/0,24	0,04/0,20	0,47/2,36	2,80
4	0,61/0,61	0,05/0,24	3,87/19,33	20,19
5	0,30/0,30	0,03/0,17	2,91/14,53	15,00
6	0,01/0,01	0,05/0,25	0,20/1,02	1,29
7	0,57/0,57	0,02/0,09	0,35/1,74	2,41
8	1,41/1,41	0,05/0,25	0,75/3,75	5,40
9	0,40/0,40	0,05/0,25	3,72/18,58	19,24
10	0,62/0,62	0,06/0,29	2,99/14,96	15,87

Примітка: 1 – схили біля санаторію імені Чкалова; 2 – сквер біля Одеської обласної ради (під деревами); 3 – сквер біля Одеської обласної ради (трав'яниста рослинність, газон); 4 – «Дюківський сад» (Розкидайлівська, 69); 5 – парк «Дюківський сад»; 6 – меморіал 411 берегової батареї; 7 – парк «Аеропортівський»; 8 – парк Перемоги; 9 – парк Марка Твена; 10 – парк Шевченка.

4. ВИСНОВКИ

На підставі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Підвищені концентрації окремих важких металів у ґрунтовому покриву Одеси зафіксовані на ділянках промислової зони та прилеглих до автомагістралей з інтенсивним рухом автотранспортних засобів. Для ґрунтів на цих територіях зафіксовано забруднення переважно від слабкого до середнього рівня за значеннями Igeo.

2. На фоні техногенно-напружених частин міста Одеса особливе місце займають паркові зони та сквери, але в їхньому ґрунтовому покриві також зафіксовані перевищення значень гранично допустимих концентрацій для окремих важких металів. Для ґрунтів на ділянках у межах окремих парків та скверів Одеси, прилеглих до техногенно-напружених зон, за значеннями Igeo також зафіксовано ґрунти від слабкого до середнього рівня забруднення, а на інших ділянках, розташованих за межами впливу техногенних джерел, – чисті ґрунти.

3. За результатами біосенсорного біоломінесцентного аналізу зразків ґрунту паркових зон міста Одеса можна зазначити: не зафіксовано вираженого інгібування рівня люмінесценції мікробних клітин – основи сенсорних елементів, що свідчить про відсутність важких металів, токсичних для ґрунтових мікроорганізмів. Зафіксовано незначний рівень стимуляції люмінесценції мікробних клітин – основи сенсорних елементів, що може бути пов'язано із впливом підвищеного вмісту органічних речовин у досліджуваних зразках ґрунту.

4. Проаналізовані проби ґрунтів окремих парків і скверів міста Одеса характеризуються низьким рівнем екологічної токсичності, що відповідає низькому рівню забруднення за значеннями індексу геокумуляції.

5. Значення загального індексу потенційного екологічного ризику (RI) забруднення ґрунтів для промислової (27,19) та транспортної (10,19) функціональних зон Одеси належать до категорії незначної величини ризику.

6. Значення загального індексу потенційного екологічного ризику забруднення ґрунтів для окремих парків та скверів міста Одеса перебувають у діапазоні від 1,29 до 19,24, що відповідає незначній величині ризику, причому більш високі значення спостерігаються на ділянках парків та скверів, які розташовані поблизу зон з підвищеним рівнем техногенного навантаження (промислових об'єктів та автомагістралей з активним рухом автотранспорту).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Gall J.E., Boyd R.S., Rajakaruna N. Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2015. Vol. 187 (4):201.
- Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України / За ред. А.І. Фатєєва, Я.В. Пащенко. Харків, 2023. URL: <https://digieduhack.com/challengesimages/assets/89> (дата звернення: 11.11.2025).
- Muller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *GeoJournal*. 1969. Vol. 2. Pp. 108–118.
- Хохрякова А.І., Михайлюк В.І. Ґрунти міста Одеси: монографія. Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2021. 146 с.
- Домусчи С.В. Чинники і географія забруднення ґрунтів Одеської міської та приміської зон: дис. ... д-ра філософії: 106 «Географія». Одеський національний університет імені І.І. Мечникова. Одеса, 2023. 225 с.
- Safranov T., Nikipelova O., Shelinhovskiy D. Assessment of heavy metal pollution levels in soils of specific areas of the Odessa industrial-urban agglomeration. *Journal Environmental Problems*. 2025. Vol. 10 (3), Pp. 269–275.
- Некос А. Н., Безсонний В. Л., Захарова М. А., Солдатенко М. А. Оцінка екологічного ризику, обумовленого забрудненням ґрунтів. Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2024: зб. мат. XXVI Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 17-18 квітня 2024 року). Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. С. 96–98.
- Håkanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*. 1980. Vol. 14 (8). Pp. 975–1001.
- Zuwei W., Zeng X. Health Risks of Heavy Metals Uptake by Crops Grown in a Sewage Irrigation Area in China. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2015. Vol. 24 (3). Pp. 1379–1386.
- Dai J.R., Pang X.G., Song J.H., Dong J., Hu X.P., Li X.P. A study of geochemical characteristics and ecological risk of elements in soil of urban and suburban areas of Zibo City, Shandong Province. *Geology in China*. 2018. Vol. 45 (3). Pp. 617–627.
- Zhang Y., Gui H., Huang Y., Yu H., Li J., Wang M. et al. Characteristics of Soil Heavy Metal Contents and its Source Analysis in Affected Areas of Luning Coal Mine in Huaibei Coalfield. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2021. Vol. 30 (2). Pp. 1465–1476.
- Li Z., Jiang Y., Zu Y., Mei X., Qin L., Li B. Effects of Lime Application on Activities of Related Enzymes and Protein Expression of Saponin Metabolism of *Panax notoginseng* under Cadmium Stress. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2020. Vol. 29 (6), Pp. 4199–4211.
- Sun Q., Sun Z., Xing W., Hao G., Li X., Du J., Li C., Tian H., Li X. Ecological Health Risk Assessment of Heavy Metals in Farmland Soil of Changchun New Area. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2021. Vol. 30 (6). Pp. 5775–5787.

REFERENCES

- Gall, J.E., Boyd, R.S. & Rajakaruna, N. (2015). Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 187(4), 201.
- Fateev, A.I. & Pashchenko, Ya. V. (eds.) (2003). Background content of microelements in soils of Ukraine. Kharkiv. URL: <https://digieduhack.com/challenges-images/assets/89> [in Ukrainian].
- Muller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *GeoJournal*. Vol. 2, pp. 108–118.
- Khokhryakova, A.I. & Mykhailiuk, V.I. (2021). Soils of the city of Odessa: monograph. Odessa: Helvetica Publishing House, 127 p. [in Ukrainian].
- Domuschy, S.V. (2023). Factors and geography of soil pollution in Odessa urban and suburban areas. Dissertation ... doctor of philosophy 106 “Geography”. Odessa I.I. Mechnikov National University. Odessa. 225 p. [in Ukrainian].
- Safranov, T., Nikipelova, O. & Shelinhovskiy, D. (2025). Assessment of heavy metal pollution levels in soils of specific areas of the Odessa industrial-urban agglomeration. *Journal of Environmental Problems*. Vol. 10(3), pp. 269–275.
- Nekos, A.N., Bezsonnyi, V.L., Zakharova, M.A. & Soldatenko, M.A. (2024). Assessment of environmental risk caused by soil pollution. Ecology, environmental protection and balanced use of nature: education – science – production – 2024. Proceedings of the XXVI International scientific and practical conference (Kharkiv, 17–18 April 2024). V.N. Karazin KhNU. Kharkiv. Pp. 96–98. [in Ukrainian].
- Håkanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*. Vol. 14(8), pp. 975–1001.
- Zuwei, W. & Zeng, X. (2015). Health risks of heavy metals uptake by crops grown in a sewage irrigation area in China. *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol. 24(3), pp. 1379–1386.
- Dai, J.R., Pang, X.G., Song, J.H., Dong, J., Hu, X.P. & Li, X.P. (2018). A study of geochemical characteristics and ecological risk of elements in soil of urban and suburban areas of Zibo City, Shandong Province. *Geology in China*. Vol. 45(3), pp. 617–627.
- Zhang, Y., Gui, H., Huang, Y., Yu, H., Li, J. & Wang, M. et al. (2021). Characteristics of soil heavy metal contents and its source analysis in affected areas of Luning Coal Mine in Huaibei Coalfield. *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol. 30(2), pp. 1465–1476.
- Li, Z., Jiang, Y., Zu, Y., Mei, X., Qin, L. & Li, B. (2020). Effects of lime application on activities of related enzymes and protein expression of saponin metabolism of *Panax notoginseng* under cadmium stress. *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol. 29(6), pp. 4199–4211.
- Sun, Q., Sun, Z., Xing, W., Hao, G., Li, X., Du, J., Li, C., Tian, H. & Li, X. (2021). Ecological health risk assessment of heavy metals in farmland soil of Changchun New Area. *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol. 30(6), pp. 5775–5787.

PECULIARITIES OF HEAVY METAL CONTAMINATION OF THE SOIL COVER IN THE CITY OF ODESA

D. V. Shelinhovskiy, T. A. Safranov

*Odesa I. I. Mechnikov National University
2 V. Zmiienka Str., Odesa, 65000, Ukraine,
safranov@ukr.net , d.v.shelinhovskiy@ukr.net*

Among the substances that pollute the environment of urbanized areas, particularly the soil cover, a special place is occupied by heavy metals, which are usually defined as metals with an atomic mass exceeding 50 atomic mass units and a density greater than 5 g/cm³. Depending on the sources of entry into the soil cover and the properties of soils, heavy metals associated with the characteristics of parent rocks are distinguished from those entering the soil cover as a result of anthropogenic activity. Pollution with heavy metals contributes to a decrease in soil porosity and adversely affects the processes of air, water, and nutrient circulation. Unlike the more dynamic atmospheric and surface water environments, where active self-purification processes take place, the soil cover practically lacks such an ability; the processes of purification from heavy metals occur very slowly, only through leaching, plant uptake, and water erosion, which determines the long-term ecological hazard in urbanized territories. Therefore, the aim of this study is to analyze the peculiarities of heavy metal contamination in the soil cover of a city whose territory is characterized by rather diverse soil-geochemical conditions. In the process of intensive urbanization, the soil cover has been exposed to numerous anthropogenic factors, resulting in changes in its physicochemical properties and increased concentrations of heavy metals. Analysis of previously conducted studies shows that the most contaminated soils with certain heavy metals (Pb, Zn, Cu, Co) are those of industrial zones and areas adjacent to highways with heavy traffic. Among these technogenically stressed areas of urban territory, a special place is occupied by park and square areas, where the recorded concentrations of lead and zinc exceed background levels, while copper content at all sites remains below the background concentration. However, the calculated range of geoaccumulation index values for these heavy metals corresponds to soil contamination levels ranging from low to moderate, depending on the distance of the sites from sources of technogenic pollution. According to the results of experimental biosensor bioluminescent analysis of the studied soils from certain parks and squares of the city of Odesa, no pronounced inhibition of luminescence levels in microbial cells, which constitute the basis of sensor elements, was detected. This indicates the absence of substances toxic to soil microorganisms. During the analysis, a slight stimulation of microbial cell luminescence was recorded, which may be associated with the influence of an increased content of organic components in the soil samples; the analyzed soil samples were classified as having a low level of ecological toxicity, corresponding to their contamination level as indicated by the geoaccumulation index. The highest calculated values of the total ecological risk index (RI) are characteristic of the industrial (27.19) and transport (10.19) functional zones of Odesa, and these indicators correspond to a minor risk magnitude.

Keywords: heavy metals, pollution, soil cover, ecological risk.

*Подання до редакції : 28. 11. 2025
Надходження остаточної версії : 09. 12. 2025
Публікація статті : 23. 12. 2025*